

# 歴史からみたヒートポンプ技術と産業応用

田中 俊六 (たなか しゅんろく) 東海大学 名誉教授

**要約** 産業用としてもその本格的な普及が期待されているヒートポンプについて、W. トムソンが1950年代に古典熱力学を完成したとほとんど同時に提案した暖房用の高効率の「熱増殖機」、あるいはP. リッティンガーが発明した、今でいう蒸気再圧縮法による塩水の濃縮を行う製塩装置の研究開発の歴史などを紹介しながら、現在の高温ヒートポンプ、蒸気生成ヒートポンプ、蒸気再圧縮濃縮装置などの、多様で高効率なヒートポンプ機器、システムが如何にこれらの先人の先見性に支えられ、のちに続く技術者の努力で誕生してきたかなどについて解説した。また、地球温暖化回避のため21世紀後半に到来が必至とされる、脱CO<sub>2</sub>電源による電化時代に、次世代のヒートポンプ技術が如何にその役割を果たしていくべきかについても私見を述べた。

## 1. はじめに

冷暖房中心のいわゆる民生用ヒートポンプが急速に普及し、その省エネ効果が官民で注目されるなかで、産業分野でも改めて、冷却、加熱、濃縮・蒸留など、様々な用途での多様なヒートポンプシステムの導入機運が高まりつつある。もとより、ヒートポンプの基本原則から言えば、その技術に民生用と産業用で基本的な差はないが、産業用の冷凍・冷蔵分野ではヒートポンプによる以外に、他に有効な方法がなかったため、結果として古くから多用されてきたのに対し、加熱側では、ヒートポンプには熱力学上、高温域での避けがたい弱点がある一方、燃料燃焼系では安価な機器と燃料を前提とした蒸気システムが存在したため、ヒートポンプは従来、十分に利用されてこなかった。しかしながら、最近の民生用にも触発されたヒートポンプ技術の急速な発達と、より一層の省エネとCO<sub>2</sub>排出削減への要請がこの分野へのヒートポンプ導入を後押ししており、特に産業用のように年間の使用率の高い熱需要分野では比較的高価なヒートポンプ機器・システムもエネルギーコストはもちろん、ライフサイクルコストの点でも従来の蒸気システムに対し十分な勝算が出てきた。こうしたなか、最近ではメーカーなどから機器の詳細な性能データが提供され、使いやすいシミュレーションプログラムなども整備されていて、システムの計画・設計者はそれらを利用することで比較的、容易に省エネ効果などの詳細を知り、設計・施工につなげることが可能になっている。そのため、一昔前のように、いわゆるモリエ線図などを使って必要な蒸発器、凝縮器、圧縮機などを個別に選定し、成績係数の高低

の傾向など検証などを行う必要はほとんどなくなってきている。ただ、《量子熱力学》を背景に、数年前の機器、システムは殆ど無意味とさえいえる電子技術とは異なり、《古典熱力学》に支配されるヒートポンプ技術は19世紀後半にその理論が確立して以来、その基本はほとんど変わっていない。例えば、膨脹機の動力を圧縮機に回収する最新の《空気冷凍システム》の基本はその当時から知られており、地下の塩水を濃縮して塩を得るためにヒートポンプ、すなわち蒸気再圧縮法(VRC)を利用する技術はすでに19世紀半ばに確立していた。このような観点からすれば、産業分野で様々な応用の可能性のあるヒートポンプ応用においては過去の研究開発の歴史を知り、古典熱力学の基本に立ち返ってその特性を知っておくことは新たなヒートポンプの世界を切り開こうとするすべてのヒートポンプに係る技術者にとって無駄なことではないと思われる。

本稿では、いわゆる古典熱力学な産物であるこのヒートポンプの原理とその研究開発の歴史の一端を紹介し、《潜熱系のヒートポンプ》と《顕熱系ヒートポンプ》の違いに関連して高温水供給ヒートポンプ、開発途上にある蒸気生成ヒートポンプなどの可能性と限界、さらには最近、産業としてよく話題となる熱プロセスにおける蒸気圧縮法、機械式蒸気圧縮法、自己再熱法などによる溶液の濃縮、蒸留などの原理と応用などについて平易に解説したものである。

## 2. 潜熱系と顕熱系のヒートポンプの違い

図1はヒートポンプの作動過程を逆カルノーサイ